

یادداشت تحقیقاتی:

تأثیر درصد خاک رس و انرژی تراکم بر آبشستگی پایه پل در بستر رسوبی و در حضور تکیه‌گاه

سید محمد علی زمردیان^{*}، مرتضی عرب^۱، مسیح ذوالقدر^۳

- ۱- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
- ۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
- ۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه جهرم

mzomorod@shirazu.ac.ir^{*}

تاریخ پذیرش: [۹۵/۰۳/۱۹]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۱/۱۵]

چکیده - مهمترین دلیل نگرانی، در خصوص پایداری پل‌ها، وقوع آبشستگی موضعی در اطراف آن هاست. مساله آبشستگی موضعی در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل در سال‌های اخیر به طور گسترده به وسیله پژوهشگران مختلف بررسی شده است که نتیجه آن ارائه روش‌های مختلفی برای کنترل و کاهش آبشستگی بوده است. یکی از این روش‌ها تراکم خاک بستر است. تراکم بستر رسوبی اطراف فونداسیون پل، مقاومت آن را در مقابل آبشستگی افزایش داده، موجب کاهش آبشستگی و به تأخیر افتادن پیشرفت آن می‌شود. در این پژوهش به منظور کاهش آبشستگی در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ رس به بستر غیر چسبنده اضافه و سپس تراکم شد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها مشاهده شد هنگامی که ۱۵٪ رس به رسوبات غیرچسبنده اضافه شود، در شرایط اشباع بستر و تراکم ۷۰٪، بعد از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش، آبشستگی پیرامون پایه به طو کامل حذف می‌شود.

واژگان کلیدی: آبشستگی، پایه پل، تراکم، کاهش آبشستگی.

۱- مقدمه

به پایین حرکت کرده و به بالا می‌چرخد و با برخورد به جریان عمومی گرداب اولیه را ایجاد می‌کند که اندازه آن با توسعه حفره آبشستگی افزایش می‌یابد. همچنین یک گرداب ثانویه با جهت چرخش معکوس با گرداب اولیه وجود دارد که پس از گرداب اولیه تشکیل می‌شود. این گرداب تأثیر بازدارنده‌ای برای ظرفیت آبشستگی گرداب اولیه دارد. در پایین دست تکیه‌گاه پل، گرداب‌های برخاستگی^۳، در اثر جدایی جریان در گوشه‌های تکیه‌گاه، تشکیل می‌شود. همچنین گرداب موج کمائی با جهت چرخش مخالف با گرداب اولیه در نزدیکی سطح آزاد بالادست تکیه‌گاه تشکیل می‌شود [1]. شکل (۱) نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی را که باعث

وقوع آبشستگی از مهمترین عوامل تهدید کننده پایداری تکیه‌گاه‌های پل احداث شده روی رودخانه‌هاست. برای جلوگیری از تخریب‌های احتمالی و زیان‌های جبران ناپذیر، لازم است با بررسی دقیق فرآیند آبشستگی و به کارگیری روش‌های مناسب، آبشستگی را کنترل کرد. پس از برخورد جریان به دماغه پل، روی تکیه‌گاه با توجه به این که سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیش تر می‌شود فشار بیش تر نیز در ترازهای بالاتر روی تکیه‌گاه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی تکیه‌گاه از بالا به پایین به وجود می‌آید. در اثر گرادیان فشار، جریان آب رو

آبشستگی می شوند نشان می دهد.

در زمینه تأثیر تراکم بستر روی عمق آبشستگی پایه و تکیه گاه پل پژوهش های اندکی صورت گرفته است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر میزان رس و انرژی تراکم روی عمق حفره آبشستگی اطراف پایه و تکیه گاه پل در مقایسه با بستر غیر چسبنده می باشد که در ادامه تعدادی از آن ها معرفی می شود.

ابوسیدا و همکاران روی آبشستگی تکیه گاه پل در بستر با خاک چسبنده تحقیق نمودند. که مطالعه آزمایشگاهی بستر فلوم با ۲ تا ۲۰ درصد رس های کائولین مخلوط شده و تکیه گاه با دیواره قائم در سه اندازه مختلف استفاده شد. آنها دریافتند که ویژگی های حفره آبشستگی به عواملی مثل درصد رس، حد پلاستیک، درصد تراکم، رطوبت، عدد فرود جریان و شکل تکیه گاه بستگی دارد. در نهایت چندین معادله تجربی برای پیش بینی عمق آبشستگی تعادلی، بیشینه عمق آبشستگی، حجم آبشستگی و ویژگی های هندسی چاله آبشستگی توسعه داده شد [4].

او و همکاران با استفاده از آنالیز ابعادی و داده های آزمایشگاهی رابطه ای جهت پیش بینی بیشینه عمق آبشستگی تکیه گاه واقع در سیلابدشت و بستر چسبنده توسعه دادند. آن ها از دو شکل تکیه گاه شیب دار و با دیواره بالی شکل در پژوهش های خود استفاده نمودند و در مجموع ۱۸ آزمایش انجام دادند. در نهایت رابطه ارائه شده به عواملی مانند شکل تکیه گاه و عدد فرود موضعی بستگی دارد [5].

انجمن تحقیقات حمل و نقل در کشور آمریکا در گزارش های شماره ۵۱۶ و ۲۴(۲)-۱۵ خود به ترتیب به آبشستگی پایه و تکیه گاه در مصالح چسبنده پرداخته است. هر دوی این گزارش ها بر پایه اطلاعات به دست آمده از آزمایش های صورت گرفته در فلوم های آزمایشگاهی تهیه شده است. همچنین مدل هایی ریاضی توسعه یافته و نتایج آن ها با داده های آزمایشگاهی مقایسه شده است [6-7].

۲- مواد و روش ها

آزمایش ها در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که مجهز به یک کانال مئاندری به طول ۴۵ متر با کف بتنی به شیب ۰/۰۰۱ و با دیواره فولادی به ارتفاع ۰/۴۵ متر و عرض ۱/۲ متر است انجام شد. در شکل (۲) کانال آزمایشگاهی نشان داده شده است.

با توجه به این که پل ها معمولاً در مسیر مستقیم رودخانه

شکل (۱): الگوی جریان در اطراف تکیه گاه پل

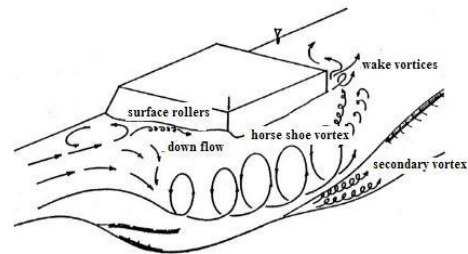


Fig. 1. Flow pattern around bridge abutment

روابط تجربی متعددی برای پیش بینی عمق آبشستگی پایه و تکیه گاه وجود دارد که در ادامه به معروف ترین آن ها می شود: اداره مرکزی بزرگراه های آمریکا برای تخمین عمق آبشستگی در اطراف پایه های پل رابطه زیر را پیشنهاد کرد:

$$D_s = 2\gamma_1 K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{D}{y_1}\right)^{0.65} F_r^{0.43} \quad (1)$$

γ_1 عمق آب در بالادست پایه پل و K_1 ضریب شکل پایه (بین ۰/۹-۱/۱)، K_2 ضریب زاویه برخورد جریان با پایه، K_3 ضریبی است که با توجه به کف کانال تعیین می شود (معمولاً بین ۱/۳-۱/۱ است) و K_4 ضریب ذرات تشکیل دهنده بستر است، D و F_r به ترتیب عرض پایه و عدد فرود جریان در بالادست پایه و D_s عمق آبشستگی است [2].

ملویل در سال ۱۹۹۷ یک روش جامع را برای تخمین عمق تعادل آبشستگی در تکیه گاه های پل ارائه کرد [3].

$$d_{se} = k_i k_y k_w k_a k_s k_\theta k_g \quad (2)$$

k_i : پارامتر شدت جریان آب، k_a : پارامتر اندازه رسوبات بستر، k_s : پارامتر شکل فوندا سیون پل، k_θ : پارامتر زاویه برخورد تکیه گاه با جریان آب، k_{yw} : پارامتر عمق جریان-اندازه تکیه گاه، k_g : پارامتر هندسه کانال و d_{se} : عمق آبشستگی تکیه گاه پل است.

در روابط فوق و تقریباً کلیه روابطی که برای تخمین آبشستگی توسعه یافته مصالح رسوبی غیر چسبنده در نظر گرفته شده و نتایج به دست آمده برای مصالح چسبنده نیز به کار برده می شود. در نتیجه اعماق پیش بینی شده بسیار بیشتر از واقعیت در رسوبات چسبنده خواهد بود که منجر به افزایش هزینه ها می شود (او و همکاران، ۲۰۱۰).

به این که آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد پس به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی باشد. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت بحرانی به سرعت جریان 0.79 بود. از این رو در این تحقیق از دبی 40 لیتر بر ثانیه استفاده شد. در این دبی عمق جریان در کانال اصلی 15 سانتی‌متر، عمق جریان در سیلابدشت 5 سانتی‌متر، سرعت متوسط جریان 0.313 متر بر ثانیه، عدد فرود جریان 0.31 و عدد رینولدز در حدود 27400 است. بنابراین رژیم جریان متلاطم زیربحرانی است. مدت زمان آزمایش در بستر غیر چسبنده برابر بود با مدت زمانی از انجام آزمایش که پس از آن تغییرات عمق آبشستگی در یک بازه سه ساعته کمتر از یک میلیمتر باشد [۹]. به همین منظور یک آزمایش طولانی به مدت 24 ساعت روی پایه پل در دبی 40 لیتر بر ثانیه در شرایط عادی (شاهد) انجام شد. با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که در هفت ساعت اول بیش از 98 درصد (132 میلی‌متر) آبشستگی رخ می‌دهد. بنابراین در کلیه آزمایش‌ها، زمان تعادل برای بستر غیر چسبنده هفت ساعت در نظر گرفته شد که در این پژوهش D_s عمق آبشستگی و D قطر پایه است. همچنین مدت زمان آزمایش در بستر چسبنده به دلیل محدودیت‌های آزمایشگاهی حداکثر 24 ساعت در نظر گرفته شد.

شکل (۳) تغییرات عمق آبشستگی نسبی در برابر زمان در بستر غیر چسبنده

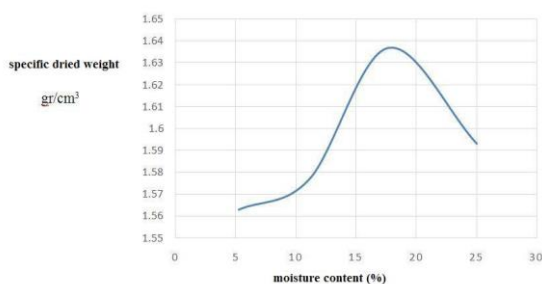


Fig.3. Variation of relative scour depth against time process

برای برداشت تغییرات توپوگرافی در حین آزمایش و در شرایطی که آب در کانال جریان داشت از یک زبری‌سنج با دقت یک میلی‌متر استفاده شده است. برای برداشت توپوگرافی، اطراف پایه و تکیه‌گاه به فاصله دو سانتی‌متر در دو سانتی‌متر مش‌بندی شد.

احداث می‌شوند آزمایش‌ها نیز در قسمت مستقیم کانال صورت گرفت. همچنین با در نظر گرفتن این نکته که تکیه‌گاه‌ها بیشتر روی سیلاب دشت رودخانه‌ها قرار می‌گیرند، مقطع آزمایش شده به صورت کانال مرکب درآورده شد. کانال مجهز به یک سیستم الکتریکی قرائت دبی و یک دریچه کشویی مستطیلی برای تنظیم ارتفاع آب است. به منظور انجام آزمایش‌ها کف کانال به وسیله سکوه‌های فلزی به ارتفاع 20 سانتی‌متر و عرضی برابر با عرض کانال بالا آورده شد. همچنین با توجه به اینکه زبری میادین غرقاب رودخانه معمولاً به دلیل وجود پوشش گیاهی بیش‌تر از مقطع اصلی آن است. قلوه سنگ‌هایی با قطر متوسط 4 سانتی‌متر به صورت زیگ‌زاگ روی سیلاب دشت چسبانده شد. برای اندازه‌گیری تغییرات بستر از یک ارتفاع سنج لیزری با دقت یک میلی‌متر استفاده شد.

شکل (۲): کانال آزمایشگاهی: الف) پلان ب) مقطع

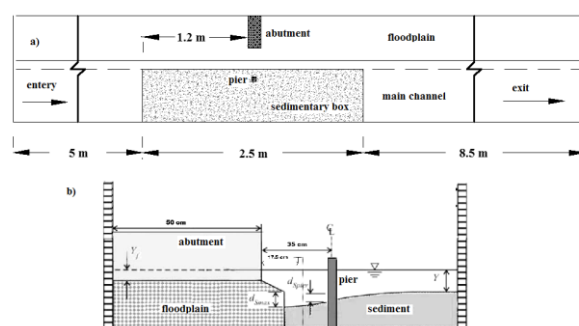


Fig.2. Experimental flume: a) plan b) section

برای جلوگیری از پدیده رپل قطر متوسط ذرات در بستر غیر چسبنده باید از 0.7 میلی‌متر بزرگ‌تر باشد و نسبت قطر پایه به متوسط ذرات باید بیش از $20-25$ باشد [8]. با توجه به این که آزمایش‌ها در بستر چسبنده با اضافه کردن رس به رسوبات غیر چسبنده صورت گرفت از یک لایه سه با قطر متوسط 0.33 میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل $1/27$ برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. رس استفاده شده از نوع رس بتونیتی با حد روانی 159 ، حد خمیری $49/2$ ، شاخص خمیری $109/8$ که براساس سیستم طبقه‌بندی متحد CH است.

برای این که عمق آب روی عمق آبشستگی اثری نداشته باشد نسبت قطر پایه به عمق آب باید کوچک‌تر از 0.7 باشد [8]. از این رو عمق آب ثابت و برابر با 15 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه

استوانه‌ای، مربعی گرد گوشه و مربعی نوک تیز استفاده شد. همچنین در کلیه آزمایش‌ها، پایه‌ها در دو فاصله ۳۵ سانتی‌متر (نصف عرض مقطع اصلی کانال) و ۱۷/۵ سانتی‌متر (۱/۴ عرض مقطع اصلی کانال) نسبت به سیلاب دشت قرار داده شد تا اثر تکیه‌گاه لحاظ شود. در شکل (۲) نمای شماتیک از چگونگی قرارگیری پایه و تکیه‌گاه در نزدیکی هم آورده شده است.

۳- بحث و نتایج

الف) تراکم خاک غیرچسبنده:

به منظور بررسی تأثیر تراکم روی عمق حفره آبخستگی اطراف پایه، رسوبات غیرچسبنده با انرژی‌های تراکم ۷۰٪، ۸۰٪ و ۹۰٪ تراکم شد. پس از انجام آزمایش و برداشتن توپوگرافی اطراف پایه و در بستر رسوبی، مشاهده شد که تراکم تأثیر قابل توجهی روی کاهش عمق حفره آبخستگی در بستر غیرچسبنده نخواهد داشت.

ب) رسوبات بستر دارای ۵٪ رس و ۱۰۰٪ تراکم

در این حالت رسوبات غیرچسبنده ابتدا با ۵٪ رس مخلوط و سپس با انرژی تراکم ۱۰۰٪ تراکم شد. پس از انجام آزمایش برای این حالت نیز مشاهده شد که تراکم تأثیر قابل توجهی روی کاهش عمق حفره آبخستگی اطراف پایه در شرایط غیر اشباع بستر ایجاد نمی‌کند.

پ) رسوبات بستر دارای ۱۰٪ رس و ۱۰۰٪ تراکم

پس از مخلوط کردن رسوبات غیرچسبنده با ۱۰٪ رس، مخلوط رس و ماسه با انرژی تراکم ۱۰۰٪ در سه لایه مساوی تراکم شد. برای این حالت بعد از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش در شرایط غیر اشباع بستر، هیچ گونه آبخستگی در اطراف پایه پل ایجاد نشد.

ت) رسوبات بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

به منظور بررسی تأثیر انرژی تراکم روی عمق حفره آبخستگی اطراف پایه پل، انرژی تراکم از ۱۰۰٪ به ۷۰٪ کاهش یافت. در شکل‌های (۵ تا ۱۳) نمودارهای مربوط به عمق حفره آبخستگی در اطراف طول‌های مختلف تکیه‌گاه و اشکال مختلف پایه در دو فاصله ۱۷/۵ و ۳۵ سانتی‌متر نسبت به سیلاب دشت برای این حالت در مقایسه با بستر غیرچسبنده آورده شده است. با توجه به این نمودارها مشاهده می‌شود که اضافه کردن ۱۰٪ رس به بستر غیرچسبنده در

پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریبیل و ناهم‌واری در سطح بستر جلوگیری شود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه‌اندازی و به آرامی به دبی مورد نظر رسانده و سپس با تنظیم دریچه پایین دست عمق جریان ۱۵ سانتی‌متری حاصل شد. پس از هر آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی، و تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب درون کانال، تغییرات بستر به وسیله متر لیزری اندازه‌گیری شد.

به منظور متراکم کردن خاک بستر ابتدا درصد مشخصی رس به خاک غیر چسبنده اضافه و با میزان رطوبت معین مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت درون یک محفظه پلاستیکی قرار می‌گرفت تا رطوبت در نقاط مختلف آن یکسان شود. سپس با توجه به تراکم مورد نیاز مخلوط رس و ماسه وزن شده و در سه لایه مساوی به وسیله چکش، متراکم شد. برای اندازه‌گیری میزان تراکم در هر لایه، از ظروف کوچک فلزی استفاده شد که پس از انجام آزمایش این ظروف به داخل آون منتقل شده و پس از خشک شدن و وزن کردن آن‌ها تراکم بستر در هر لایه بدست آمد. در شکل (۴) نمایی از چکش تراکم و ظرف فلزی استفاده شده برای نمونه‌گیری نشان داده شده است.

شکل (۴) چکش تراکم و ظرف نمونه‌گیری



Fig.4. Compaction hammer and sampling can

برای بررسی تأثیر تکیه‌گاه روی آبخستگی پایه، از طول سه اندازه تکیه‌گاه قائم به طول‌های ۵۰ سانتی‌متر (برابر با طول سیلاب دشت)، ۳۷/۵ سانتی‌متر (۳/۴ طول سیلاب دشت) و ۲۵ سانتی‌متر (نصف طول سیلاب دشت) استفاده شد. همچنین برای تعیین اثر شکل پایه بر آبخستگی، از سه پایه ۵ سانتی‌متری شامل پایه‌های

از نتایج این تحقیق آورده شده است.

۱- تراکم بستر غیر چسبنده تأثیری روی کاهش آبشستگی در اطراف پایه ندارد.

۲- افزودن ۵ درصد رس به بستر غیر چسبنده در شرایط تراکم استاندارد و رطوبت بهینه تأثیری در میزان کاهش آبشستگی پایه پل ندارد. این در حالی است که برای بستر اشباع در شرایط مشابه آبشستگی حدود ۵۰٪ کاهش می‌یابد.

۳- افزودن ۱۰ درصد رس به بستر غیر چسبنده در شرایط تراکم استاندارد و رطوبت بهینه بعد از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش برای حالت‌های مختلف پایه و تکیه‌گاه، آبشستگی را به میزان ۱۰۰ درصد کاهش می‌دهد.

۴- زمان پارامتر بسیار مهمی روی آبشستگی پایه پل در خاک چسبنده است. این در حالی است که در بستر غیر چسبنده پس از گذشت چند ساعت از شروع آزمایش ماکزیمم عمق آبشستگی حاصل می‌شود.

۵- اشباع بودن بستر چسبنده روی آبشستگی پایه پل تأثیرگذار است به گونه‌ای که در شرایط اشباع برای حالت‌های مختلف پایه و تکیه‌گاه آبشستگی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

۶- برای حالت‌های مختلف پایه و تکیه‌گاه با افزایش تراکم بستر عمق آبشستگی پایه پل کاهش می‌یابد.

شکل (۵) نمودار عمق آبشستگی تکیه‌گاه بزرگ برای بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

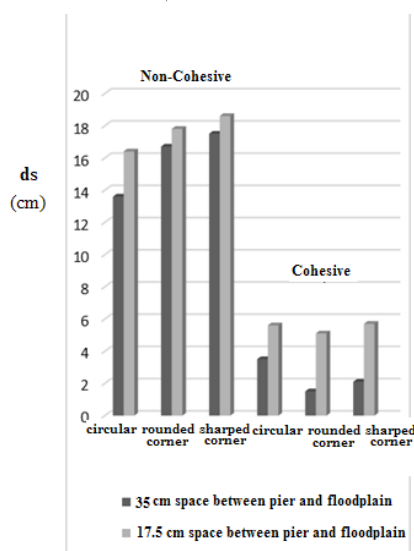


Fig. 5: Scour depth at the long abutment with 10% clay content and 70% compaction

شرایط غیر اشباع، حتی با انرژی تراکم ۷۰٪ نیز بعد از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش، عمق آبشستگی را بیش از ۵۰٪ کاهش می‌دهد.

ث) رسوبات بستر دارای ۱۵٪ رس و ۷۰٪ تراکم

برای این حالت ۲۴ ساعت بعد از شروع آزمایش هیچ گونه آبشستگی در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل ایجاد نشد.

ج) تأثیر زمان روی عمق حفره آبشستگی فونداسیون پل در بستر چسبنده

اشکال (۱۳ و ۱۴) نمودارهای مربوط به عمق آبشستگی تکیه‌گاه متوسط و اشکال مختلف پایه در نزدیکی این تکیه‌گاه بعد از گذشت ۷ و ۱۴ ساعت از شروع آزمایش برای بستر دارای ۱۰٪ و ۷۰٪ تراکم را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودارها مشاهده می‌شود با دو برابر کردن زمان آزمایش از ۷ به ۱۴ ساعت، عمق آبشستگی بستر چسبنده به طور قابل توجهی افزایش یافته است در حالی که برای بستر غیر چسبنده دو برابر کردن زمان آزمایش تأثیر قابل توجهی روی عمق آبشستگی ایجاد نکرده است.

خ) تأثیر اشباع بودن بستر چسبنده روی عمق حفره آبشستگی همان‌گونه که قبلاً اشاره شد اضافه کردن ۵٪ رس به بستر غیر چسبنده و کوئیدن آن با انرژی تراکم ۱۰۰٪ در شرایط غیر اشباع بستر، بعد از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش، تأثیر قابل توجهی روی کاهش عمق حفره آبشستگی اطراف پایه و تکیه‌گاه پل ایجاد نمی‌کند. این در حالی است که در شرایط اشباع بستر همین میزان رس و انرژی تراکم بعد از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش، با توجه به شکل (۱۳) عمق آبشستگی را در حدود ۵۰٪ نسبت به شرایط غیر اشباع بستر کاهش داده است. همچنین برای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم پس از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش، برای شرایط اشباع بستر هیچ گونه آبشستگی در اطراف پایه پل ایجاد نشد.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به بررسی تأثیر درصد رس و همچنین انرژی تراکم روی عمق آبشستگی اطراف پایه و تکیه‌گاه پل می‌پردازد. در این راستا ابتدا عمق آبشستگی اطراف پایه پل در بستر غیر چسبنده اندازه‌گیری شد. سپس ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ رس به بستر غیر چسبنده اضافه و با انرژی‌های تراکم ۱۰۰٪ و ۷۰٪ متراکم شد. در ادامه برخی

شکل (۸) نمودار عمق آبشستگی اشکال مختلف پایه در مجاورت تکیه‌گاه متوسط برای بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

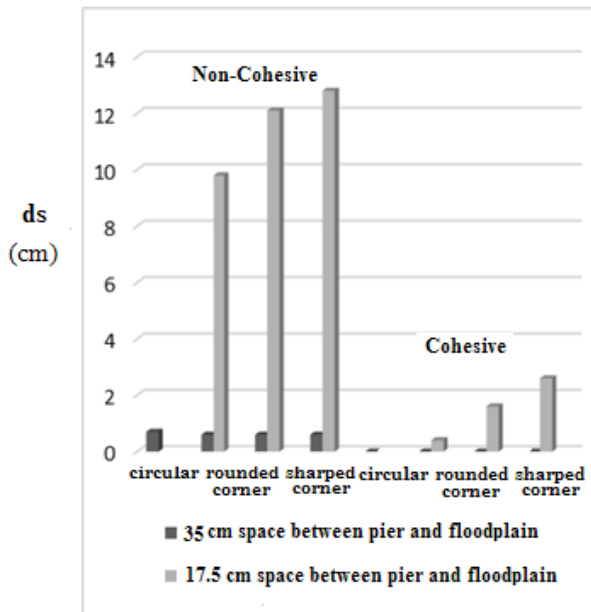


Fig. 8. Scour depth of different pier shapes in vicinity of the medium abutment with 10% clay content and 70% compaction

شکل (۶) نمودار عمق آبشستگی اشکال مختلف پایه در مجاورت تکیه‌گاه بزرگ برای بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

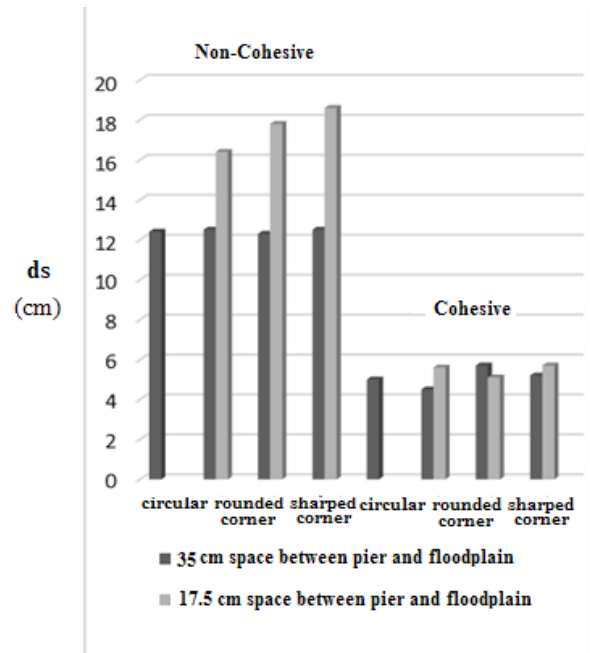


Fig. 6. Scour depth of different pier shapes in vicinity of the long abutment with 10% clay content and 70% compaction

شکل (۹) نمودار عمق آبشستگی تکیه‌گاه کوچک برای بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

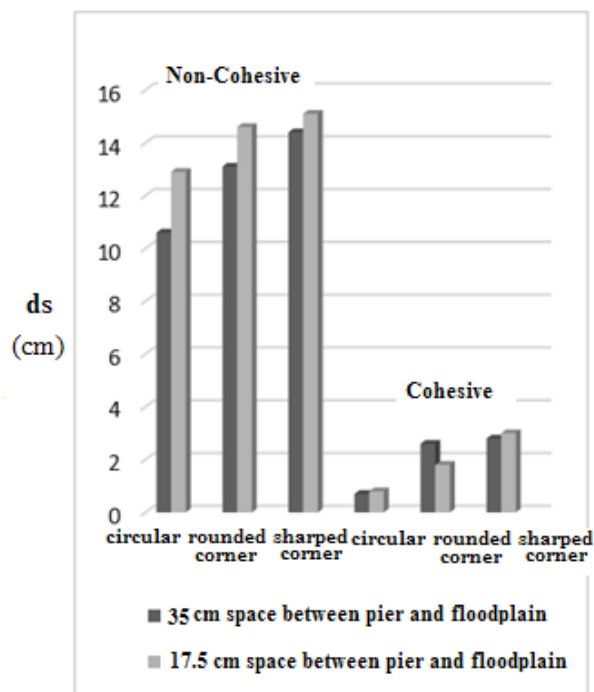


Fig. 9. Scour depth of the short abutment with 10% clay content and 70% compaction

شکل (۷) نمودار عمق آبشستگی تکیه‌گاه متوسط برای بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

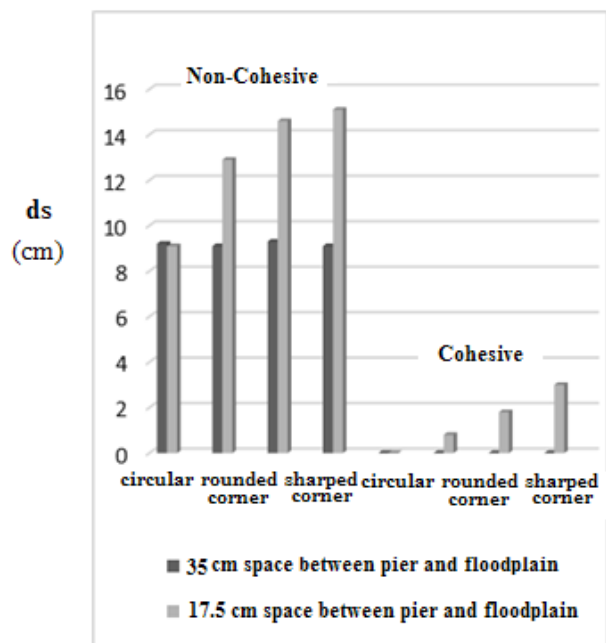


Fig. 7. Scour at medium abutment with 10% clay content and 70% compaction

شکل (۱۲): تاثیر زمان آزمایش بر روی عمق آبشستگی اشکال مختلف پایه در مجاورت تکیه‌گاه متوسط برای بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

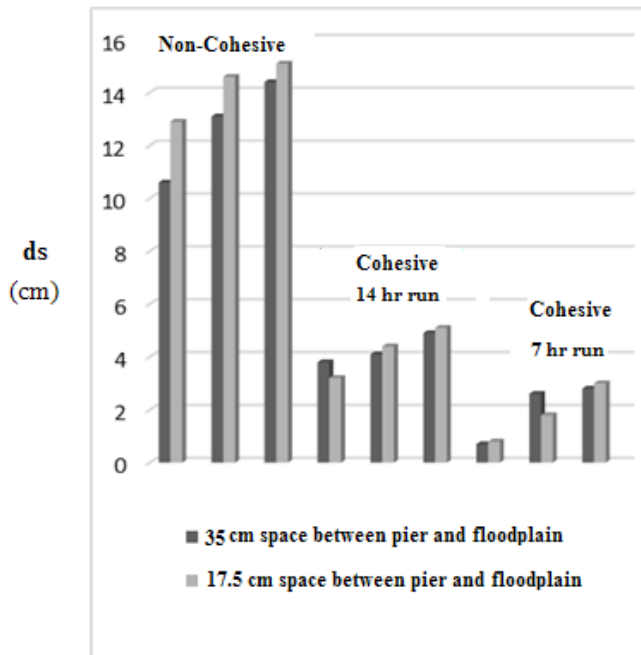


Fig. 12. Effect of time process on scour depth at different pier shapes in vicinity of medium length abutment with 10% clay content and 70% compaction

شکل (۱۰): نمودار عمق آبشستگی اشکال مختلف پایه در مجاورت تکیه‌گاه کوچک برای بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

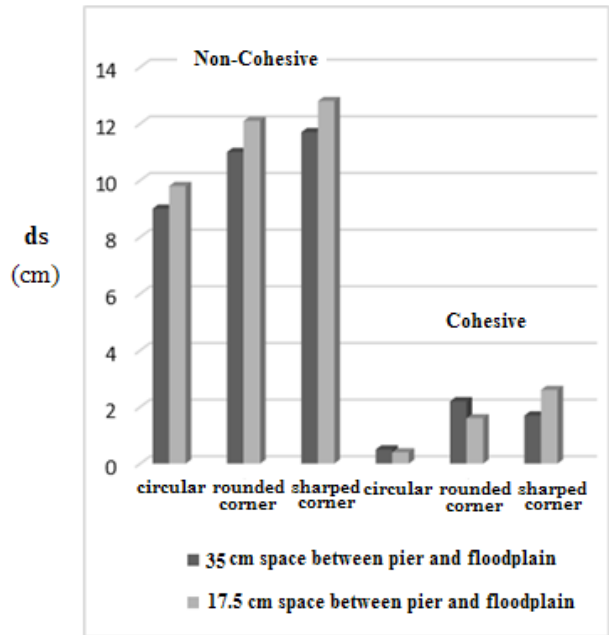


Fig. 10. Scour depth of different pier shapes in vicinity of the short abutment with 10% clay content and 70% compaction

شکل (۱۳): تاثیر اشباع بودن بستر دارای ۵٪ رس و ۱۰۰٪ تراکم بر روی کاهش عمق آبشستگی اشکال مختلف پایه در مجاورت تکیه‌گاه متوسط

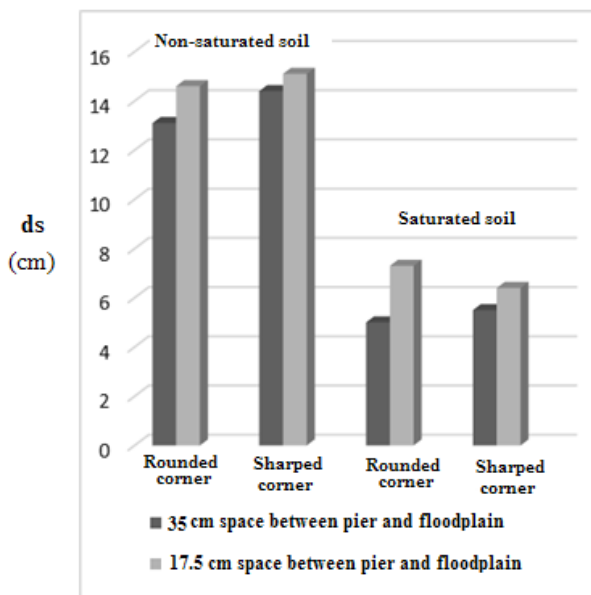


Fig. 13. Effect of bed material saturation with 5% clay content and 100% compaction ratio on scour mitigation of different pier shapes in vicinity of the medium abutment

شکل (۱۱): تاثیر زمان آزمایش بر روی عمق آبشستگی تکیه‌گاه متوسط برای بستر دارای ۱۰٪ رس و ۷۰٪ تراکم

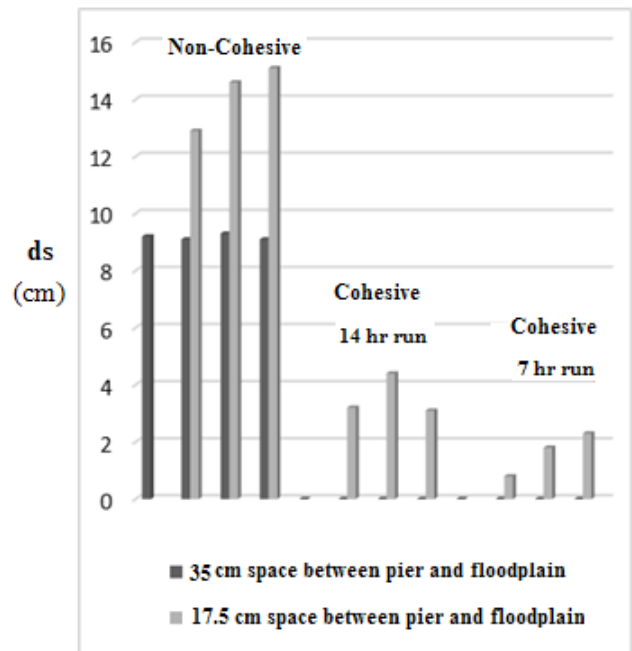


Fig. 11. Effect of time process on scour depth at medium length abutment with 10% clay content and 70% compaction

۵- مراجع

- [1] Dey; S.; and Barbhuiya; A.K; "Clear-water scour at abutments in thinly armored beds"; J. Hydraul. Eng., ASCE; Vol.130, No.2, (2004). PP: 622-634.
- [2] Raikar; V.R.; and Dey; S.; "Maximum scour depth at pier in armor beds"; KSCE Journal of Civil Engineering; Vol.13, No.2, (2009). PP: 137-14.
- [3] Melville; B.W.; "Pier and abutment scour –an integrated approach"; JHE, ASCE; Vol.123, No.2, (1997). PP: 125-136.
- [4] Abu-seida; M. M., Elsaed; G. H., Mostafa; T.M., Elzahry; E.F., 2012. Local Scour at Bridge Abutments in Cohesive Soil. Journal of Hydraulic Research, Vol. 50, Issue 2:171-180.
- [5] Oh; S.J, Briaud; J.L., Chang; K.A., Chen; H.; "Maximum abutment scour depth in cohesive soils" International Conference on Scour and Erosion, 2010.
- [6] Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Project 24-15, Abutment scour in cohesive materials, USA., 435 pp.
- [7] Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Project 24-15, Pier and contraction scour in cohesive soil, USA., 136 pp.
- [8] Raudkivi; A.J.; and Ettema; R.; "Clear water scour at cylindrical piers"; Journal of Hydraulic Engineering, ASCE; Vol.109, No.3, (1983). PP: 338-349
- [9] Kumar; V.; Rang Raju; K.G.; and Vittal; N.; "Reduction of local scour around bridge pier using slots and collar"; Journal of Hydraulic Engineering, ASCE; Vol.125, No.2, (1999). PP: 132-135.

Effect of Clay Content Percentage and Compaction Energy on Pier Bridge Scour in Erosive Bed and in the vicinity of abutment

S.M.A. Zomorodian^{1*}, M. Arab² and M. Zolghadr³

1- Associate Professor, Department of Water Engineering, Shiraz University.

2- Post Graduate Student Hydraulic Structure, Water Engineering Department, Shiraz University.

3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Jahrom University, PO BOX 74135-111, Jahrom, IRAN.

*mzomorod@shirazu.ac.ir

Abstract:

The most dominant concern about the stability of bridges is the occurrence of local scour around piers and abutments. The local scour around bridge foundations has been widely studied by different researchers in recent years. Different methods have been proposed to control the scour depth and occurrence of scouring around bridge piers and abutments. Construction of bridge foundations in elevations deeper than predicted values is a usual method, in which, proper estimation of scour depth is very crucial. There are other available methods to countermeasure the scour, among which: installation of an armour layer around bridge piers and abutments. In this method heavy particles of stone or concrete blocks are placed around the bridge foundations, enhancing resistance of the bed to erosion and scour. Deviation of the flow from the bridge foundation is another way which usually transfers the scour to the midway channel at downstream of the structure. Installation of collars and spur dikes are the examples of this approach. An innovative method to mitigate scour around hydraulic structures is "soil compaction". Compaction increases the relative density and soil resistance which mitigates scour and produce a time delay in scour hole development procedure. Effects of clay content percentage and compaction ratio on scour reduction around bridge piers are investigated in this paper. Experimental programs are conducted in a flume with 45 m length, 1.2 m width, 0.45 m depth and with a bed slope of 0.001. Uniform sand with median size of 0.73 mm and standard deviation of 1.27 is selected as non-cohesive material. The clay content liquid limit (LL) is 15.9, plastic limit (PL) is 49.2 and plasticity index (PI) is 10.9, which categorize the clay content as CH according to Unified Classification Standard. The experiments are performed in clear water conditions ($v_r/v=0.9$) with a constant depth of 15 cm and a flow rate equal to 40 L/s (with a subcritical Froude Number of 0.31 and mean velocity of 0.31 m/s). In order to investigate the effect of clay content percentage and compaction energy on local scour, 5%, 10%, and 15% of clay were added to the soil. Thereafter, the specimens were compacted by different ratios. According to the experimental results, compaction leaves no effect on non-cohesive soil scouring rate and magnitude. However if the clay content percentage rises up to 10% -while the compaction ratio is 100%- the scour is completely eliminated. In order to assess the effect of compaction ratio on scour mitigation, the same mixture (with 10% clay content) was compacted to 70% of ultimate compaction energy. The results showed a 50% decrease in scour depth which is comparable to the previous case in the same compaction rate (70%). The percentage of the clay content was raised to 15% for another test. The results showed that the scour was completely captured. In a specimen with 15% clay content mixed with non-cohesive sediment materials -in saturated bed conditions- and with a relative density of 70%, the scour process around the bridge pier was completely controlled after 24 hours. The results prove that adding cohesive materials can postpone the local scour process significantly.

Keywords: Scour, Bridge Pier, Compaction, Scour countermeasure